

Spis treści

Podziękowania ix

Wstęp xi

1 Spin 1

Zegar Kwantowy	6
Pomiary w tym samym kierunku	7
Pomiary w różnych kierunkach	7
Pomiary	9
Przypadkowość	10
Fotony i polaryzacja	11
Wnioski	15

2 Algebra liniowa 17

Liczby zespolone kontra liczby rzeczywiste	18
Wektory	19
Diagramy wektorów	19
Długość wektorów	20
Mnożenie przez skalar	21
Dodawanie wektorów	21
Wektory ortogonalne	23
Mnożenie bra przez ket	23
Bra-ket i długość wektorów	24
Bra-ket i ortogonalność	24
Bazy ortonormalne	25
Wektory jako kombinacje liniowe wektorów bazowych	27
Uporządkowane bazy	29
Długość wektorów	30
Macierze	30
Obliczenia na macierzach	33

Macierze ortogonalne i unitarne	34
Narzędzia algebry liniowej	35

3 Spiny i kubity 37

Teoria prawdopodobieństwa	37
Matematyka spinu kwantowego	38
Równoważne wektory stanu	41
Baza powiązana z danym kierunkiem spinu	43
Obrót aparatury pomiarowej o 60°	45
Model matematyczny dla polaryzacji fotonu	46
Baza odpowiadająca danemu kierunkowi polaryzacji	47
Eksperymenty z filtrami polaryzacyjnymi	47
Kubity	49
Alicja, Bob i Ewa	50
Amplitudy prawdopodobieństwa i interferencja	53
Alicja, Bob i protokół BB84	54

4 Splątanie kwantowe 57

Kubity Alicji i Boba nie są splątane	58
Obliczenia dla kubitów niesplątanych	60
Obliczenia dla kubitów splątanych	61
Komunikacja superluminalna	63
Baza standardowa dla iloczynów tensorowych	65
Jak się splątują kubity?	66
Splątanie kubitów z użyciem bramki CNOT	68
Splątane zegary kwantowe	69

5 Nierówność Bella 73

Splątane kubity w różnych bazach	75
Dowód, że $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$ równa się $\frac{1}{\sqrt{2}} b_0\rangle \otimes b_0\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} b_1\rangle \otimes b_1\rangle$	76
Einstein i realizm lokalny	78
Einstein i zmienne ukryte	79
Klasyczne wyjaśnienie splątania kwantowego	80
Nierówność Bella	82
Odpowiedź mechaniki kwantowej	82
Odpowiedź klasyczna	84
Pomiar	87
Protokół Ekerta i kwantowa dystrybucja kluczy	89

6 Logika klasyczna. Bramki. Obwody	91
Logika	92
Negacja	92
Koniunkcja	93
Alternatywa	93
Algebra boolowska	94
Równoważność logiczna	95
Operatory funkcjonalnie zupełne	97
Nand	99
Bramki logiczne	101
Bramka NOT	101
Bramka AND	102
Bramka OR	102
Bramka NAND	103
Obwody	103
NAND jako bramka uniwersalna	104
Bramki logiczne i obliczenia	105
Pamięć	107
Obliczenia odwracalne	107
Bramka negacji kontrolowanej	109
Bramka Toffoliego	111
Bramka Fredkina	113
Obliczenia prowadzone za pomocą kul bilardowych	115
 7 Kwantowe bramki logiczne i obwody	 121
Kubity	122
Bramka CNOT	122
Kwantowe bramki logiczne	124
Kwantowe bramki logiczne działające na jeden kubit	125
Bramki I i Z	125
Bramki X i Y	126
Bramka Hadamarda	126
Czy istnieją uniwersalne bramki kwantowe?	127
Twierdzenie o nieklonowaniu	128
Obliczenia kwantowe kontra klasyczne obliczenia	130
Obwód Bella	131
Kodowanie supergęste	133
Kwantowa teleportacja	136
Korekcja błędów	140
Kod powtarzany	141
Kwantowa korekcja odwrócenia bitów	142

8 Algorytmy kwantowe	147
Klasy złożoności P i NP	148
Czy algorytmy kwantowe są szybsze od klasycznych?	150
Złożoność zapytań	151
Algorytm Deutsch'a	152
Iloczyn Kroneckera macierzy Hadamarda	156
Algorytm Deutsch'a-Jozsy	159
Algorytm Simona	164
Bitowe dodawanie sekwencji modulo 2	164
Sformułowanie problemu Simona	165
Iloczyn skalarny i macierz Hadamarda	166
Macierze Hadamarda a problem Simona	167
Obwód kwantowy dla problemu Simona	169
Klasyczna część algorytmu Simona	172
Klasy złożoności obliczeniowej	174
Algorytmy kwantowe	176
9 Znaczenie obliczeń kwantowych	179
Algorytm Shora i kryptoanaliza	180
Szyfrowanie RSA	180
Algorytm Shora	182
Algorytm Grovera i przeszukiwanie danych	184
Algorytm Grovera	184
Zastosowania algorytmu Grovera	186
Chemia i symulacja	189
Sprzęt	191
Wyżarzanie kwantowe	193
Supremacja kwantowa i wszechświaty równoległe	195
Obliczenia	196
Indeks	199